

# Enerji Depolama Teknolojilerinin İncelenmesi ve Karşılaştırmalı Analizi

Cem Emeksiz<sup>1\*</sup> ve Burak Kara<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye (cem.emeksiz@gop.edu.tr) (ORCID: 0000-0002-4817-9607)

<sup>2</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Tokat, Türkiye (burak.kara@gop.edu.tr) (ORCID: 0000-0002-4453-6515)

**Türkçe Özet** – Ülkemizde petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olması, çevresel ve sosyal kısıtlamalar nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Endüstriyel ve teknolojik gelişmelere de bağlı olarak modern hayatın sürdürülebilir olması ve üretimde devamlılığın sağlanması için enerji sürekliliği oldukça önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında enerji üretiminde karşılaşılan kesintilerin en aza indirilmesi ve bu sistemlerin yaygınlaşması için depolama teknolojileri oldukça önemli rol oynamaktadır. Enerji talebinin, ihtiyaç duyulduğu anda yeteri kadar arz edilmesi gerekmektedir. Enerji miktarında gün içerisinde meydana gelebilecek talep farklılıklarına hızlı ve güvenilir olarak yanıt verilmesi enerji depolama sistemleri ile mümkün olmaktadır. Enerji depolama teknolojisi; elektrik güç sistemlerini iyileştirme, yenilenebilir enerji üretimine katkı sağlama ve petrol türevi yakıtlara alternatif sunabilmesinden dolayı büyük potansiyele sahip bir teknolojidir. Bu çalışmada; kimyasal, elektriksel, elektrokimyasal, mekanik ve ısı enerji depolama sistemleri ele alınarak yapıları ve çalışma prensipleri hakkında bilgi verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler** – Enerji Depolama Yöntemleri, Yenilenebilir Enerji, Enerji Depolama Teknolojileri, Enerji Depolama.

**Atf:** Emeksiz, C., Kara, B. (2022). Enerji Depolama Teknolojilerinin İncelenmesi ve Karşılaştırmalı Analizi. International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 6(2): 134-142.

## Investigation and Comparative Analysis of Energy Storage Technologies

### Extended Abstract

Due to the limited reserves of fossil fuels such as oil, coal and natural gas in our country and environmental and social constraints, the tendency towards renewable energy sources has increased. Depending on industrial and technological developments, energy continuity is very important in order to maintain modern life and ensure continuity in production. Storage technologies play a very important role in minimizing the interruptions encountered in energy production in the use of renewable energy sources and in the widespread use of these systems. Energy demand must be sufficiently supplied when it is needed. Fast and reliable response to demand differences that may occur during the day in the amount of energy is possible with energy storage systems. Energy storage technology has great potential to improve electric power systems, contribute to renewable energy production and provide an alternative to petroleum-derived fuels. In this study; chemical, electrical, electrochemical, electrochemical, mechanical and thermal energy storage systems were discussed and information was given about their structures and working principles.

**Keywords** – Energy Storage Methods, Renewable Energy, Energy Storage Technologies, Energy Storage

**Citation:** Emeksiz, C., Kara, B. (2022). Investigation and Comparative Analysis of Energy Storage Technologies. International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 6(2): 134-142.

### I. GİRİŞ

Dünyada enerjinin keşfinden bu zamana kadar birçok enerji kaynağı hayatımızda yer etmiştir. İnsanoğlu gıda, temiz su, ısıtma, ulaşım gibi temel gereksinimlerini gerçekleştirmek amacıyla ve teknolojiye bağlı olarak da enerjinin farklı çeşitlerine ihtiyaç duymaktadır. Birleşmiş Milletler (BM) tarafından yapılan çalışmada dünya nüfusu öngörülerine bağlı olarak dünya nüfusunun hızlı artış yaşadığını ve yaşayacağını göstermektedir [1]. Bu durum daha fazla insana enerji arzının sağlanması anlamına gelmektedir. Enerji

kesintisi; doğal afetler, sabotaj, uluslararası ilişkiler veya yetersiz planlama gibi durumlardan dolayı meydana gelebilir. Enerjide meydana gelebilecek geçici veya kalıcı kesintiler sebebiyle ayrıca dünya nüfus artışına bağlı olarak hayatın olağan akışının aksamaması için enerji depolama sistemleri üzerine yapılan çalışmalar oldukça önem kazanmıştır. Enerji depolama sistemlerinin farklı işlevleri üretimi etkilese de, tek amacı enerji depolama ve operasyonel esnekliği artırmaktır. Gelecekte, enerji depolama teknolojileri rollerini ön planda

tutarak, yarının teknolojilerini basitleştirmek için kolaylık sağlayacaktır.

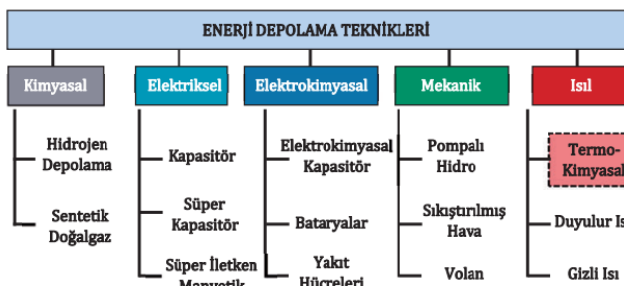
Enerji depolanmasının tarihçesi oldukça eskilere dayanmaktadır. Bilinen en eski yakıt hücresi tasarımının bundan 2200 yıl önce Pers İmparatorluğu döneminde kullanıldığı düşünülmektedir [2]. Elektrokimyasal enerji depolama sistemleri açısından 1700 lü yıllarda Luigi Galvani ve Alessandro Conte di Volta'nın yaptığı çalışmalar günümüzde kullanılan Galvanik parçalar ve Volt kavramını meydana getirmiştir [3]. Elektrik enerjisinin depolanmasını sağlayan kurşun asit aküler 1859 yılında keşfedilmiştir.

Günümüzde enerji depolama konusunda en büyük ihtiyaç elektrik enerjisinin depolanması üzerinedir [2]. Elektrik enerjisi, çoğu durumda en düşük maliyetle her yerde kolayca ve hazır bulabileceğimiz bir ticari üründür. Uzun zamandır ortak tüketim malı olarak kabul edilmiştir [4]. Elektrik üretildiği gibi tüketilmektedir. Bilgi çağında elektrik enerjisine her zamankinden daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, arz-talep dengesi dikkate alınarak üretim yapılmalıdır. Arz-talep dengesinde oluşan büyük farkın, depolama teknolojisiyle kapatılması amaçlanmıştır. Enerji depolama sistemleri arz-talep dengesizliğinden dolayı, her zamankinden daha fazla zorunluluk haline gelmiştir. Fakat depolamak oldukça zor ve maliyetli ekipmanlar gerektirir [5]. Depolanan enerji tamamen tükenmeden önce yerine koyulmalıdır. Tamamen tükenmenin yaşanmaması için olasılıkların çok iyi hesaplanıp kesinti süreleri, talepte meydana gelen anlık artış ve azalışlar dikkate alınarak uygun sistem tasarlanması gerekir. Ancak bu sayede kesinti yaşanmadan faaliyetlere devam edilebilir. Elektrik enerjisi, çeşitli yöntemlerle depolanabilir. Bunlar; kimyasal, elektrokimyasal, elektriksel, mekanik ve termal sistemlerdir. Bu yöntemler arasında mekanik pompalı ve hidro depolama sistemleriyle beraber termal enerji depolama sistemleri ön planda ortaya çıkmıştır ve yoğun bir biçimde araştırılıp kolayca uygulanabileceği ön görülmüştür [6-8].

Bu çalışma ile temel enerji depolama sistemlerin araştırılması ve gelişen teknolojiye bağlı olarak bu sistemlerdeki inovatif yaklaşımların incelenmesi amaçlanmıştır. Özellikle sistemler arasında karşılaştırmalı analizler yaparak avantaj ve dezavantajların ortaya konulması ile bu alanda yapılacak olan çalışmalara öncü olunması hedeflenmiştir.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Enerji depolama teknikleri çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Enerji depolama sistemlerinde, dönüştürülen enerji biçimi sınıflandırmayı geniş ölçüde belirler [9]. Enerji depolama teknikleri Şekil 1 de verilmiştir. Enerji depolama teknikleri 5 ana bölüme ayrılabilir; kimyasal, elektrokimyasal, elektriksel, mekanik ve ısıl depolama [10].



Şekil 1. Enerji depolama teknikleri [11]

## 2.1. Kimyasal Enerji Depolama Teknolojileri

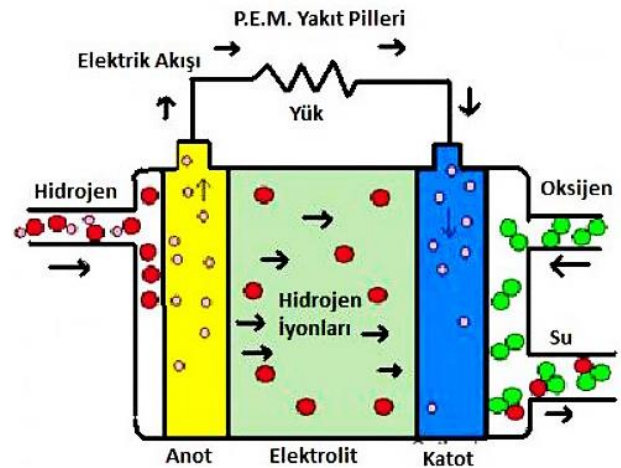
Kimyasal enerji, atomların kimyasal bağlarında depolanır ve sadece kimyasal bir ortamda salındığında görülebilen moleküler reaksiyonlardır. Kimyasal enerji serbest bırakıldığında, madde tamamen farklı bir maddeye dönüşür [12]. Kimyasal yakıtlar, elektrik üretiminde ve enerji taşımacılığında ayrıca da enerji depolamada oldukça fazla kullanılırlar. En çok tüketilen kimyasal yakıtlar; dizel yakıt, işlenmiş kömür, benzin, doğalgaz, propan, butan, etanol, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), hidrojen ve biyodizeldir. Bahsi geçen bu kimyasallar serbestçe sıvıya dönüştürülür ve ısı motorları kullanılarak hareket ettirici olarak kullanıldığında mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler [10, 13]. Öte yandan, elektrik üretimi için depolanan kimyasal enerji, direkt olarak elektron transfer reaksiyonlarıyla serbest bırakılabilir [14].

### 2.1.1. Hidrojen Depolama Teknikleri

Hidrojen; bol miktarda bulunan, temiz yenilenebilir yakıttır ve enerji taşıyan bir malzemedir [15-18]. Hidrojenler sadece, yanma reaksiyonundan sonra su buharı emisyonu salınımı gerçekleştirirler. Kimyasal hidrojenin enerjisi 142 kJ/kg olup diğer hidrokarbonlardan daha yüksek enerjiye sahiptirler [18].

Hidrojen depolama yöntemleri genel olarak iki kategoriye ayrılabilir; fiziksel (gaz ve sıvı halde) ve malzeme bazlı depolama. Gaz hali depolama genellikle 350-700 barlık yüksek basınçlı tanklarda yapılabilirler. Hidrojenin kaynama noktası (1 atm) -252,8 °C'dir. Kaynama noktası sıcaklığından dolayı sıvı hidrojenin depolanması için kriyojenik soğutma yöntemleri gerektirir [19]. Enerji depolama sistemlerinde, hidrojenin kapasitesi oldukça fazladır. Çünkü hesaplamalara göre bir kilogram hidrojen yaklaşık olarak 33 kWh enerji içerdiği görülmüştür [20, 21]. Hidrojenin; petrol ithalatını azaltarak enerji güvenliğini artırmak, yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanarak sürdürülebilirlik sağlamak, üretim yoluyla daha az kirlilik ve daha iyi kentsel hava kalitesi sağlayarak kullanım noktasında sifıra yakın karbon, hidrokarbon vb. emisyonları en aza indirmek gibi birçok avantajı vardır. Bu nedenle hidrojen dünya çapında kabul görmüş bir temiz enerji kaynağıdır [20-25]. Hidrojen pil yapısı Şekil 2' de görülmektedir.

Bu tipte pil yapıları düşük sıcaklıklarda çalışırlar, güç yoğunlukları yüksektir ve hızlı ilk çalışma gerektiren yerlerde kullanılabilirler. Düşük sıcaklıklarda çalışmasından dolayı pahalı katalizörlere ihtiyaç duyarlar [26].



Şekil 2. Hidrojen pil yapısı [26]

### 2.1.2. Sentetik Doğal Gaz (SNG) Depolama Teknikleri

Doğal gaz, en popüler fosil yakıttır ve esas olarak CH<sub>4</sub>'ten oluşur. Biyogaz, çöp gazı, sentetik doğal gaz ve biyo-sentetik doğal gaz ise diğer gaz yakıtlarıdır. Biyogaz çürümüş organik maddeler tarafından üretilir ve CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> içerir. Depolama sahasının bileşimi biyogaza benzer [27]. Sentetik doğal gaz, katı besinlerin gazlaştırılmasıyla kısmen dönüştürülmesi anlamına gelir.

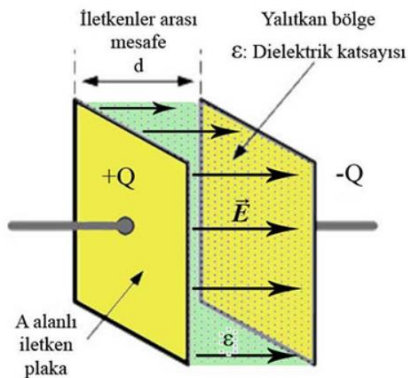
Üretilen sentetik doğal gaz, yeraltında, basınçlı tanklarda depolanabilir veya doğrudan gaz şebekeleri beslenebilmektedir. Sentetik doğal gaz, hem CO<sub>2</sub>'in fazla olduğu yerlerde hem de elektriğin mevcut olduğu yerlerde tercih edilir [28]. Hidrometantasyon veya katalitik buhar gazlaştırma teknolojisi geleneksel metanasyondan daha verimli olarak kabul edilir [29].

### 2.2. Elektriksel Enerji Depolama Teknikleri

Elektriksel enerji depolama teknikleri; kapasitörler, süper kapasitörler ve süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri olarak kategorize edilebilirler. Genel olarak kapasitörler, yüksek akım durumunda kullanılabilir, fakat oldukça düşük olan kapasitans üretimlerinden dolayı sadece çok kısa süreler için kullanıma uygundur. Süper kapasitör, çok yüksek kapasitans sunması haricinde, normal bir kapasitörün yerini alabilir. Süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri, güç santral çıkışlarında çıkıntıyı stabilize etmek veya enerji sarfiyatındaki maksimum verimi karşılamak için kullanılabilirler. Örneğin çelik fabrikaları veya hızlı transfer demiryolları [30].

#### 2.2.1. Kapasitörler

Kapasitörler, elektriği depolamak için en doğru yöntemdir [31]. Kapasitör iç yapısı Şekil 3'de gösterilmektedir. Kapasitör, dielektrik adı verilen iletken olmayan bir katmanla ayrılmış iki metal plakadan oluşur. Bir levha doğru akım kaynağından gelen elektrikle yüklendiğinden, diğer levhada karşıt işaretli bir yük indüklenmiş olacaktır [32]. Metalize veya metal elektronların yüzeylerinde enerji depolarlar. Kapasitörlerin enerji yoğunluğu çok düşük olduğundan, yüksek akımları iletebilirler ancak bunu son derece kısa süreler için gerçekleştirirler [10].

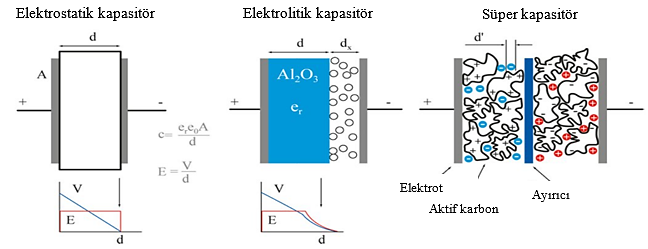


Şekil 3. Kapasitör iç yapısı [33]

#### 2.2.2. Süper Kapasitörler

Süper kapasitörler, elektrokimyasal çift katmanlı kapasitörler elektronikte kullanılan klasik kapasitörler ile genel piller arasındaki boşluğu doldurur [28]. Süper kapasitör iç yapısı Şekil 4'de gösterilmiştir. Süper kapasitörler, molekül yapısı

inceliğinde bir elektrolit tabakası kullanır ve çok geniş yüzey alanlı aktif karbon yapısına sahiptir [10]. Bataryalar ile kıyaslandığında çok daha verimli şarj ve deşarj olabilmektedir [2]. Süper kapasitörlerin enerji depolama yetenekleri, klasik



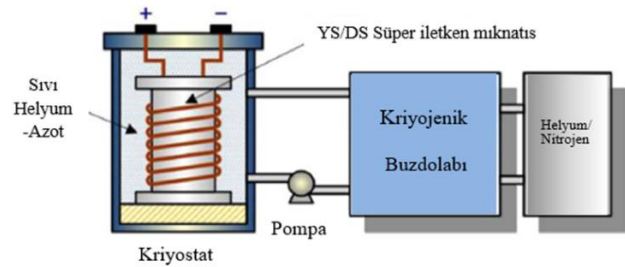
kapasitörlere göre oldukça fazladır [32].

Şekil 4. Kapasitörlerin yapıları [34]

Süper kapasitörlerin enerji depolaması statik şarj sayesinde elektrokimyasal pil sisteminden farklıdır. Grafen kullanılarak yapılan süper kapasitörlerin çok daha hafif ve kullanışlı olacağı düşünülmektedir. Mevcut karbon süper kapasitörlerin yerine geçeceği düşünülen grafenin elektrostatik şarj kapasitesi yüzey alanı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Li-ion bataryalar ile enerji depolama kapasiteleri aynı olsa da on binlerce kez şarj edilebilme özelliğine sahiptir [35]. Grafen süper kapasitörler ticari boyutta üretildiğinde enerji depolama konusunda devrim yaşanması muhtemeldir [36].

#### 2.2.3. Süper İletken Manyetik Enerji Depolama

Süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri (SMES), elektrodinamik ilkesine göre çalışır [28]. Enerji, süper iletken kritik sıcaklığının altında tutulan bir süper iletken bobinde doğru akım akışının yarattığı manyetik alanda depolanır [28, 30, 31]. Kriyojenik olarak soğutulan süper iletken malzeme ve depolanan enerji, bobinin enerjisini boşaltarak şebekeye geri bırakılabilir [30]. Süper iletken manyetik enerji depolama sisteminin görünümü Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Süper iletken manyetik enerji depolama sisteminin yapısal görünümü [37]

Süper iletken manyetik depolama, su ve çözücülere dayanan sulu ve susuz elektrolitlere sahiptirler [38]. Sulu elektrolitli piller arasında Kurşun Asit, Nikel-Kadmiyum, Nikel-Metal Hidrür ve Alkalın Çinko-Mangan Dioksit bulunur. Susuz elektrolitli piller arasında Lityum İyon, Metal Hava, Lityum Metal, Sodyum Kükürt ve Sodyum Nikel Klorür bulunur [28,38].

### 2.3. Elektrokimyasal Enerji Depolama Teknikleri

Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için elektrokimyasal güç kaynakları kullanılır. Dönüştürme işlemi sırasında minimum iki ortak kimyasal reaksiyon işleminden geçer.

Elektrokimyasal depolama teknolojilerinin iki ana dalı vardır. Elektrokimyasal piller ve elektrokimyasal kapasitörler [39]. Kimyasal reaksiyonun tasarımına, yapısal özelliklerine, doğasına göre elektrokimyasal depolama sitemleri değişir [40]. Çalışma prensiplerine göre, elektrokimyasal piller ve hücreler 4 kategoride sınıflandırılabilir; birincil hücre veya pil, ikincil hücre veya pil, yedek hücre ve yakıt hücresi [41, 42]. Ayrıca piller yapımında kullanılan kimyasalların çeşitlerine bağlı olarak da sınıflandırılmaktadırlar [43].

Elektrokimyasal enerji depolama sistemlerinin önemli uygulama alanları arasında rüzgar ve güneş enerjisi kullanımı da dahil olmak üzere ulaşım ve mikro güç (sabit/taşınabilir) üretimi yer almaktadır [44].

İkinci bir faydalı sınıflandırma, deşarj derinliğine atıfta bulunur; sıg veya derin döngülü piller [45]. Derin döngülü piller, yapı olarak daha az kalın plakaya sahiptir, yenilenebilir uygulamalar için uygundur. Üçüncü sınıflandırma, aküdeki elektrolitin karakteristiğine atıfta bulunur (su basmış veya ıslak ve sızdırmaz). Su basmış veya ıslak piller yenilenebilir uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İki çeşit sızdırmaz pil vardır; yenilenebilir uygulamalar için Jel ve Absorbe Cam Mat [45].

### 2.3.1. Çalışma Prensibine Göre Piller

#### 2.3.1.1. Birincil Hücre veya Pil

Genellikle birincil pil şarj edilemez. Çoğu birincil hücre emici malzeme veya ayırıcıda bulunan elektrolitleri kullanır [41]. Elektrolit tipi birincil pilleri sulu ve susuz olarak sınıflandırılabilir. Sulu piller su bazlı elektrolit çözeltileri içerir. Sulu elektrolitli piller Çinko-Karbon ve Çinko-Klorür, Alkalın Çinko-Mangan Dioksit, Çinko-Hava, Çinko-Gümüş Oksit ve Çinko-Cıva Oksit içerir. Susuz elektrolit türü Lityum-Tiyonil Klorür, Lityum-Sülfürlü Klorür ve Lityum-Kükürt Dioksit, Lityum-Mangan Dioksit, Lityum-Karbon Monoflorür, Lityum-DEMİR Disülfür, Lityum-İyot, Lityum-Gümüş Vanadyum Oksit türlerini içerir.

#### 2.3.1.2. İkincil Hücre veya Pil

İkincil bir hücre veya pil, deşarj esnasında akımın tersi yönde hareket ederek devreden geçmesiyle şarj edilebilir [41]. Şarj edilebilir pil sistemleri elektrolit çeşidine göre ikiye ayrılır. Sırasıyla su ve çözücülere dayanan hem sulu hem de susuz elektrolitlere sahiptirler. Sulu elektrolitli piller Kurşun Asit, Nikel-Metal Hidrür, Nikel-Kadmiyum, ve Alkalın Çinko-Mangan Dioksit dir. Susuz elektrolitli piller Lityum İyon, Lityum Metal, Sodyum Kükürt, Metal Hava ve Sodyum Nikel Klorür dür [28,38].

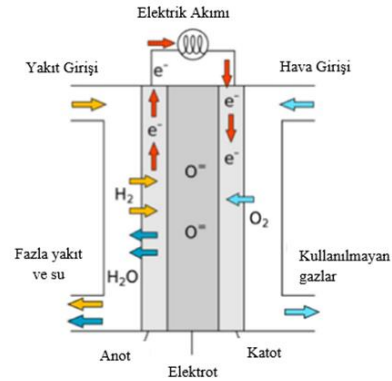
#### 2.3.1.3. Yedek Hücre veya Pil

Yedek hücre veya pil, birincil pil grubundadır. Bu piller çoğunlukla uzun süreli depolama için tercih edilir. Hücrenin aktif kimyasalları, gerekli olana kadar ayrılır ve izole edilir [41]. Yedek piller elektrolit olmadan monte edilir. Etkin hale getirilmiş hücrelerin performansını olumsuz etkileyerek tehlike yaratabilecek koşullar altında güvenilir bir şekilde muhafaza edilebilirler. Pillerin eksik parçası kullanmadan önce eklenebilir [38].

#### 2.3.1.4. Yakıt Hücresi

Bir yakıtın gizli kimyasal enerjisini ortaya çıkarmak ve elektrik enerjisi üretmek için öncelikli olarak hidrojenin veya başka bir yakıtın kimyasal enerjisini kullanarak elektrik

üretimi sağlayan cihazlardır [46, 47]. Yakıt hücrelerinin çalışma prensibi piller gibidir. Bununla birlikte, tükenmezler veya tekrar şarj edilmeye gerek duymazlar. Yakıt sürekliliği olduğunda elektrik ve ısı üretirler [46]. Şekil 6'da tipik bir yakıt hücresinin yapısı görülmektedir. Yakıt hücresi anot, katot ve elektrolit zarından meydana gelir. Bir yakıt hücresi, hidrojeni yakıt hücresinin anodundan ve oksijeni yakıt hücresinin katodundan geçirerek çalışır.



Şekil 6. Tipik yakıt hücresinin çalışma prensibi [77]

Hidrojen yakıt hücresinin anot bölgesinde elektronlara ve protonlara ayrışır. Elektronlar bir elektrik akımı ve aşırı ısı üreterek bir devre boyunca zorlanırken protonlar elektrolit zarından geçerler. Katotta protonlar, elektronlar ve oksijen birleşerek su molekülleri oluşturur [47]. Temel olarak elektrolit tipi yakıt hücreleri; polimer elektrolit membran (PEM) yakıt hücreleri, doğrudan metanol yakıt hücresi, alkalın yakıt hücresi, fosforik asit yakıt hücresi, erimiş karbonat yakıt hücresi, katı oksit yakıt hücresi, tersinir yakıt hücresi olarak sınıflandırılır [48].

### 2.3.2. Kullanılan Kimyasalın Çeşidine Göre Piller

#### 2.3.2.1. Kurşun Asit Piller

Fotovoltaik sistemlerde tercih edilen pil çeşididir. Uzun ömürlü ve düşük maliyetli olmaları tercih edilmesine en önemli etkidir. Bakım maliyetlerinin yüksek olması ve enerji yoğunluklarının düşük olması dezavantajları arasındadır. Ayrıca yapısında bulunan sülfürik asit tehlike yaratmakla birlikte bu pillerin aşırı şarj durumunda patlama riski bulunmaktadır [50].

#### 2.3.2.2. Lityum İyon Piller

Kurşun asit pillerden sonra en çok tercih edilen pil yapısıdır. Lityum iyon piller eski pil teknolojilerine göre daha fazla gerilim üretebilmektedirler. Toksik maddeler içermediğinden dolayı imha edilmesi kolaydır. Aşırı ısınma ve yüksek gerilimlerde zarar verme ihtimalinin olması dezavantajları arasındadır [51].

#### 2.3.2.3. Sodyum İyon Piller

Lityum iyon pillerin yerini alması beklenen yeni nesil enerji depolama sistemleridir. Fakat sodyum maddesi ağır yapısı nedeniyle dezavantaj meydana getirmektedir. Sodyum iyon piller ticari kullanım açısından henüz yeterli özellikleri ortaya koyamamaktadır [52].

#### 2.3.2.4. Nikel Kadmiyum Piller



Uzun yıllardır kullanılan pil teknolojisidir. 1.3 volt değerine kadar gerilim üretebilmektedir. İçinde kadmiyum bulunması çevresel etkilerden dolayı risk yarattığından, imhası ve geri dönüşümü noktasında sıkıntılar vardır [53].

### 2.3.2.5. Lityum Sülfür Piller

Daha yüksek kapasiteyle çalışma imkanı sunan bu pil teknolojisi yakın zamanda aktif kullanıma geçme potansiyeline sahiptir. Diğer pil çeşitlerine göre daha kısa zamanda ömrünü tamamlaması en büyük dezavantajdır [36]. Ayrıca meydana gelen elektrokimyasal tepkimelerde sülfür katodunun zamanla korozyona uğraması diğer bir dezavantajdır.

### 2.3.2.6. NanoBolt Lityum Tungsten Piller

Yeni anot materyalinde yapılan çalışmalar sonucunda bakırın bağlanması için tungsten ve karbon kaplı çoklu tabakalama teknolojisiyle meydana gelen nano tüplerin yeni bir batarya olasılığını ortaya çıkarabileceği gözlemlenmiştir. İyonların bağlanmasına daha çok olanak sağlayan geniş yüzey teknolojisi ile pillerin daha fazla enerji depolamasına ve hızlı şarj olmasına imkan sağlamaktadır [54].

### 2.3.2.7. Redox Akım Pilleri

İçerisine eklenen hidroklorik ve sülfürik asit ile Li-ion türevlerine göre %70 daha yüksek yoğunluk gözlenmiştir. Bu pil çeşidi rüzgar tribünleri ve güneş panellerinden elde edilen enerjinin depolanması amacıyla kullanılmıştır. Elektrikli araçlara uygulanması durumunda ise bir şarj ile 1600 km sürüş olanağı tanımaktadır. Bu piller daha hafif ve yüksek enerji depolama imkanı sunmaktadır [36].

### 2.3.2.8. Alüminyum Grafit Piller

Bu piller oldukça yüksek hızlarda şarj olma imkanı sunmaktadır. Stanford üniversitesinde geliştiren bataryaların akıllı telefonlarda kullanılması durumunda 60 saniyede telefonu şarj edebileceği görülmüştür. Üretilen prototipte sadece 1.5 V enerji çıkışı sağlanabilmektedir. Bu durum ise mevcut elektronik cihazlar için yetersizdir. Daha kullanışlı bir kullanım şeklinin bulunması durumunda daha hafif, enerji kapasitesi yüksek ve güvenli olacaktır [36].

### 2.3.2.9. Biyoelektrokimyasal Piller

Bu piller, anaerobik bakteriler yardımıyla asetik asit üreterek oksidasyon yöntemi kullanılmaktadır. Henüz üzerinde yapılan çalışmalar devam etmektedir. Bu batarya teknolojisinin en büyük avantajı içeriğindeki bakterinin sürekli kendini yenilemesi ve sonsuz ömre sahip olmasıdır [36]. Biyoelektrokimyasal pil teknolojisi ile Mikrobiyal Yakıt Hücreleri geleceğin tükenmeyen pil özelliğini taşıma kapasitesindedir [55].

### 2.3.2.10. Organosilikon Elektrolit Piller

Li-ion pillerde elektrotlarda meydana gelecek ateş alma ve patlama risklerine karşın, riskleri ortadan kaldırmak için organosilikon bazlı solventlerin pillerde kullanılması sonucunda ortaya çıkarmıştır. Bu teknoloji henüz araştırma aşamasında olup çalışmalar hız kazanmıştır [54].

### 2.3.2.11. Katı Hal Pilleri

Katı hal sürücüler (Solid State Drive-SSD) veri depolama teknolojisinde hızlı ve güvenli veri depolama ile devrim açmıştır. Buna bağlı olarak enerji depolama içinde düşünülen

bu teknoloji pil teknolojisinde ciddi değişimler vadetmektedir. SSD batarya kullanılarak ısınma problemi ortadan kaldırılarak yangın riski ortadan kaldırılıp, performans kaybı yaşamadan ömür boyu kullanım olasılığı sunmaktadır [36]. Seramik, sülfat, cam ve katı polimer bileşenlerden oluşan bu bataryalar gelecekte Li-ion bataryalara göre 2-10 kat daha yoğun enerji sağlama potansiyeline sahiptir [56].

### 2.3.2.12. Altın Nanokablolu Jel Elektrolit Piller

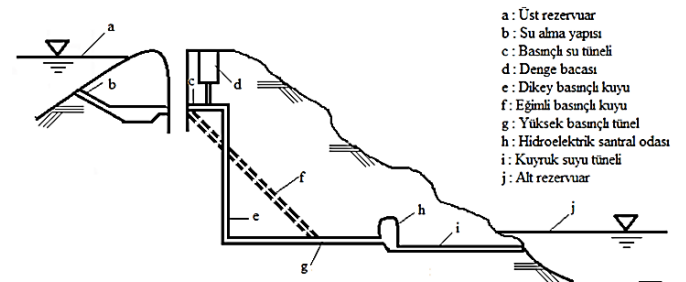
Altın nanokablolara mangan dioksit ile kaplayarak elektrolitik jel içerisine koyan araştırmacıların yaptığı testler sonucunda herhangi bir aşınma olmadan 200000 defa şarj olduğu gözlemlenmiştir. Geleneksel bataryaların 6000 defa şarj olma durumu ile kıyaslandığında oldukça başarılı bir tasarımıdır [54].

## 2.4. Mekanik Enerji Depolama Teknikleri

Mekanik enerji depolama çalışma prensiplerine göre; basınçlı gaz, zorlanmış yaylar, kinetik enerji ve potansiyel enerji olarak tanımlanabilir. Mekanik enerji depolamanın en büyük avantajı, mekanik işler için gerektiğinde enerjii kolayca iletebilmeleridir [57]. Mekanik enerji depolama yöntemleri su akımı, dalga ve gelgit kaynaklarından gelen enerjii dönüştürmek ve depolamak için kolaylıkla uyarlanabilir. Genel olarak volan, pompalı hidro ve sıkıştırılmış hava depolama teknolojilerinden oluşur.

### 2.4.1. Pompalı Hidro Depolama Sistemleri

Pompalı hidro depolama sistemleri, yüksek ve tepe talebi karşılamak için suyu farklı kotlardaki iki rezervuar arasında hareket ettirerek enerjii depolar ve üretir [58, 59]. Pompalı hidro enerji depolama sistemleri ile su kullanarak büyük ölçekli enerji rezervuarları oluşturmak mümkündür. Yenilenebilir gücün değişkenliğini sağlamak için pompalı depolama uygulanmaktadır (Rüzgâr, güneş ve dalga gücü vb.). Pompalı depolama, yüksek çıktı ve düşük talep zamanlarında fazla üretimi (veya negatif yükü) emebilir ve depolanan enerjii serbest bırakabilir [60]. Bir pompalı depolama tesisinde, pompa türbinler suyu yoğun olmayan saatlerde yüksek bir depolama rezervuarına aktarır. Depolanan su daha sonra, tüketicilerden gelen talepteki geçici artışları veya diğer enerji santrallerindeki planlanmamış kesintileri karşılamak için elektrik üretmek için kullanılabilir [61]. Pompaj hidro depolama sistem şeması Şekil 7'de gösterilmiştir.



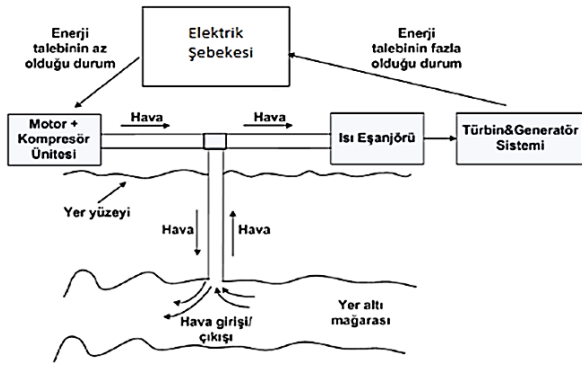
Şekil 7. Pompalı hidro depolama sistem şeması [58]

Pompalanan depolama ayrıca üç ana tipte kategorize edilmiştir. Bunlar; kapalı döngü, yarı açık ve açık sistem olarak adlandırılır. Kapalı döngü, dikey bir mesafeye ayrılan ve hiçbir başka bir su kütleline bağlı olmayan iki rezervuardan oluşur. Yarı açık, değiştirilmiş veya bir yapay

rezervuardan ve değiştirilmiş nehir veya göl barajından oluşur ve sürekli akışa sahiptir. Açık sistem, hem üst hem de alt rezervuardan devamlı su akışı vardır [62].

### 2.4.2. Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama Teknikleri (SHEDT)

SHEDT sistemleri güçlü bir enerji rezervi yaratır [63]. Geleneksel (SHEDT), havayı basınçlandırmak için bir kompresör kullanır ve havayı yeraltı jeolojik oluşumlara pompalar [64]. Kompresör, hava depolama deposu ve genişletici; SHEDT sisteminde üç ana bileşendir [65]. SHEDT sistemleri, esas olarak Brayton Döngüsü tahrikli gaz türbini santrallerine göre düşünülmüş ve uygulanmıştır. Gaz yanma odasına girmeden önce sıkıştırılmış hava gerektirir. SHEDT, doğrudan dalga enerjisi sistemine de (Salımlı Su Kolon) birleştirilebilir. Wells türbini, salımlı su sütunu içindeki basınç değişikliği tarafından üretilen hava akışını kullanır. Salımlı su kolonu enerji santralinin ana parçasıdır [66].

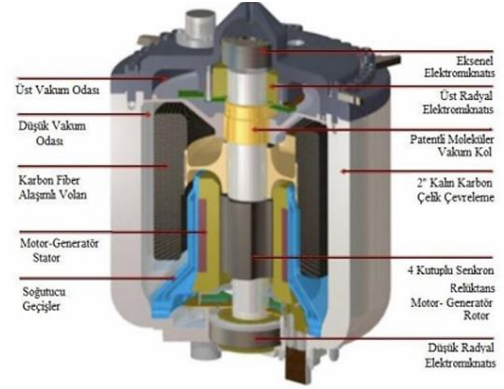


Şekil 8. SHEDT sistem şeması [61]

Bu yöntemlerle üretilen yenilenebilir enerjinin çoğu, hemen değilse de daha sonra talebin arttığı veya yenilenebilir kaynakların düşük üretim dönemleri yaşadığında kullanılacaktır [67]. Tuz mağaralarında taze havanın depolanması, fazla enerjinin boşa harcanmasını önlemiş, güvenilir ve güvenli bir yöntemidir. Bu temiz hava, yerin bir kilometre altına kadar olan jeolojik tuz birikintileri içindeki derin yeraltı mağaralarında depolanır [68]. Sistem çalışma prensibi Şekil 8'de verilmiştir. Sıkıştırma aşaması normal olarak türbin kapasitesinin yaklaşık 2/3'ünü kullandığından, SHEDT türbini sıkıştırma tarafından engellenmez [69].

### 2.4.3. Volan Depolama Teknikleri

Manyetik olarak kaldırılan yataklar tarafından stator üzerinde bulunan büyük bir döner silindir (bir şafta bağlı bir jant), çoğu modern yüksek hızlı volan enerji depolama sisteminin ana parçasıdır. Volan sisteminin ana görünümü Şekil 9'da verilmiştir [63].

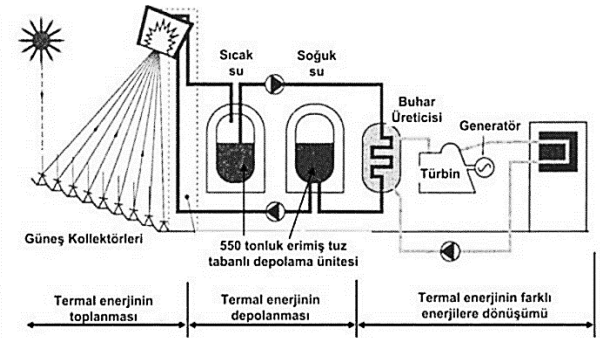


Şekil 9. Volan enerji depolama sisteminin ana görünümü [70]

Bir volan, enerjii çok yüksek hızlarda dönen rotor kütesinin kinetik enerjisi olarak mekanik olarak depolayabilir [58, 63]. Bu depolanan enerji yavaşlayan bir tork aracılığıyla volanı yavaşlatarak mevcut olan kinetik enerji jeneratöre geri döndürülerek tekrar kullanılabilir. Volan ne kadar hızlı dönerse o kadar fazla enerji depolar. Volanlar yüksek hız ve düşük hız olarak sınıflandırılabilir [58]. Elektrikli lokomotiflerde enerji depolamak için demiryolu hatlarının elektriksiz bölümleri boyunca hareketi garanti etmek için kullanılırlar. Ray tarafında volanların statik pil olarak kullanılmasına ilgi artıyor. Lokomotiflere giden elektrik akımı beslemesini stabilize etmek ve ayrıca frenleme sırasında lokomotiflerin elektrik hatlarına geri beslenen enerjii depolamak için kullanılabilirler [71].

### 2.5 Isıl Enerji Depolama Teknikleri

Sıcaklık, yer veya güç gibi farklı koşullarda daha fazla kullanım için bir sıcaklıktaki depolama ortamında ısı veya soğuk depolamak için uygun sistemlerdir [72]. Isıl enerji depolama sistemleri alan ve proses ısıtma veya soğutma, sıcak su temini veya elektrik üretimi gibi konut ve endüstriyel amaçlı uygulanabilir. Isıl enerji depolama sistemleri; termokimyasal, duyulur ısı ve gizli ısı gibi üç farklı kategoride sınıflandırılabilir [9, 72]. Termal enerji depolama sistem şematığı Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Termal enerji depolama santrali şematığı [72]

#### 2.5.1. Termokimyasal Enerji Depolama

Termal enerji depolama (TED), çevresel etkileri azaltabilen, daha verimli ve temiz enerji sistemlerini kolaylaştıran termal enerjii depolamak için gelişmiş bir teknolojidir. Termokimyasal TED, yüksek enerji yoğunluğu depolama potansiyeli ile ortaya çıkan bir yöntemdir. Bu nedenle, alanın sınırlı olduğu durumlarda, termokimyasal TED, gerekli kompakt termal enerji depolamasını elde etmek için en yüksek potansiyele sahiptir [73, 74].

Termokimyasal TED sistemlerinin diğer TED türlerine göre birçok avantajı vardır. Bu avantajlar;

- Bileşenler (A ve B), oluşumlarından sonraki ortam koşullarına soğutulduktan sonra, genellikle ortam sıcaklığında ayrı olarak saklanabilir. Bu nedenle, depolama süresi boyunca çok az ısı kaybı olur veya hiç olmaz ve sonuç olarak, yalıtım gerekli değildir.
- Düşük ısı kayıplarının bir sonucu olarak, termokimyasal TED sistemleri özellikle uzun süreli enerji depolaması (örneğin mevsimsel depolama) için uygundur.
- Termokimyasal malzemeler, PCM'lere ve hassas depolamaya göre daha yüksek enerji yoğunluklarına sahiptir. Daha yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle, termokimyasal TED sistemleri, gizli ve duyulur TED'e kıyasla daha kompakt enerji depolaması sağlayabilir. Bu nitelik özellikle TED için alanın sınırlı veya değerli olduğu durumlarda faydalıdır.

şeklinde sıralanabilir [73].

### 2.5.2. Duyulur Isı Enerji Depolama

Duyulur ısı depolaması proste sıcaklık değişikliklerine yol açar [75]. Kullanılan ortamın kütleyle birlikte özgül ısı kapasitesi bir depolama sisteminin kapasitesini belirler [9]. Depolama ortamı sıvı (su, erimiş-tuz veya kızgın yağ), katı (taş, beton, metal veya zemin) veya katı dolgulu sıvı olarak farklı fazlarda olabilir [9, 75].

### 2.5.3. Gizli Isı Enerji Depolama

Duyulur ısının depolanmasının tersine, gizli ısı sıcaklık değişimi ile algılanamaz [75]. Gizli ısı depolama, faz değişim malzemeleri kullanarak depolama ortamı oluşturur [9]. Gizli ısı sisteminde termal iletkenlik önemli bir araçtır. İlaven, hacimsel depolamanın kapasitesini belirledikleri için faz geçişindeki yoğunluk ve entalpi önemlidir [75]. Gizli ısı depolama sistemlerinde kullanılmak üzere hem organik (parafin), inorganik hem de biyo-bazlı PCM'ler (tuz hidratlar) mevcuttur [9, 76]. Gizli ısı enerji depolama yöntemlerinden birisi buzda enerji depolama yöntemidir. Bu yöntem binaların soğutma yükünün, su-buz faz değişimi sırasında ortaya çıkan ısı enerjiden yararlanarak bunu daha sonra kullanmak üzere depolamasıdır. Bunun temel amacı kapalı hacimlerin serinletilmesinde kullanılan klima sistemlerinin enerji tüketim maliyetlerinin azaltmaktır [77].

## III.SONUÇ

Bir enerji depolama sistemi, geleceğin teşvik edici teknolojilerinden biri olan akıllı şebeke konseptlerini mümkün kılacaktır. Enerji üretimleriyle ilgili dalgalanmaları ortadan kaldıran enerji depolama sistemleri yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonunu kolaylaştırabilir. Enerji depolama sistemleri sistem güvenilirliğini destekleyebilir ve ek olarak yük izleme, dönüş rezervi, siyah başlatma özelliği gibi bazı yardımcı tesisler sunabilir. Ayrıca, enerji depolama sistemleri tepe yüklerini ortadan kaldırmaya katkıda bulunabilir ve bu sayede jeneratör arızalarını azaltabilir. Depolanan enerji miktarı pik yükü telafi etmede önemli bir rol oynayabilir. Baz üretim birimlerinin kapasite faktörü bu şekilde artırılabilir, ayrıca düşük fiyatla depolanan enerji kullanımı için olumlu bir faktördür. Enerji depolama sistemleri, yeni teknolojilerin çeşitliliğine, değişen tüketici alışkanlıklarına, faaliyetlerine ve geçen on yılda elektrik

üretimine dönüşümlü mekanizmasına ve değişen dağıtım sistemine adaptasyon için kilit bileşen gibi görünüyor. Ayrıca, şebeke performansında güvenilirlik, hızlı yanıt, yük eşleştirme yeteneği gibi birçok iyileştirme sağlayabilir. Sürdürülebilirlik ve çevrenin korunması gibi enerji konularının önemli sorunları, bizi enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye ve yenilenebilir enerji kullanımını artırmaya yönlendiriyor. Yenilenebilir kaynakların kısa ve uzun dönemli dalgalanmalarından enerji/elektrik üretim miktarlarının değişimi, bazı kritik ölçümler gerektirir. Bu nedenle, enerji depolama, kolay yönetilebilirlik, kontrol edilebilirlik, öngörülebilirlik ve esneklik nedeniyle elektrik şebekesi sisteminin yanıt kapasitesini iyileştirmek için önemli ölçüde önemli hale gelir. Hayatımızın her alanında yer edinmiş olan batarya ve bunun gibi enerji depolama sistemleri teknolojinin geleceğini iyileştiren bir araştırma konusu olup gelişime en açık alanlardan birisidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Worldometer, "World Population Projections", <https://www.worldometers.info/world-population/world-population-projections/>.
- [2] ThinkTech (2022). "ThinkTech - Enerji Depolama Teknolojilerindeki Son Gelişmeler", ThinkTech. <https://thinktech.stm.com.tr/enerji-depolama-teknolojilerindeki-son-gelistmeler>
- [3] E. Dänilä ve D. D. Lucache, "History of the First Energy Storage Systems", içinde Paper delivered at the 3rd International Symposium on the History of Electrical Engineering and of Tertiary-Level Engineering Education, 2010, ss. 27-29.
- [4] F. Faure, "Suspension magne'tique pour volant d'inertie." Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Grenoble, France; Juin 2003.
- [5] H. Ibrahim, A. Ilinca, ve J. Perron, "Energy storage systems— Characteristics and comparisons", Renewable and sustainable energy reviews, c. 12, sy 5, ss. 1221-1250, 2008.
- [6] M. Esen ve T. Ayhan, "Development of a model compatible with solar assisted cylindrical energy storage tank and variation of stored energy with time for different phase change materials", Energy Conversion and Management, c. 37, sy 12, ss. 1775-1785, Ara. 1996, doi: 10.1016/0196-8904(96)00035-0.
- [7] M. Esen, A. Durmuş, ve A. Durmuş, "Geometric design of solar-aided latent heat store depending on various parameters and phase change materials", Solar Energy, c. 62, sy 1, ss. 19-28, Oca. 1998, doi: 10.1016/S0038-092X(97)00104-7.
- [8] M. Esen, "Thermal performance of a solar-aided latent heat store used for space heating by heat pump", Solar Energy, c. 69, sy 1, ss. 15-25, Oca. 2000, doi: 10.1016/S0038-092X(00)00015-3.
- [9] (2011) IEC White Paper EES | IEC Webstore. <https://webstore.iec.ch/publication/22374>.
- [10] Wagner L. Overview of energy storage methods, (<http://www.moraassociates.com/>)
- [11] Ö. Erdoğan. Enerji Depolama (<http://www.guyad.org/Eklenti/241.guyad-enerji-depolama-101pdf.pdf?0>)
- [12] Your Dictionary. "Examples of Chemical Energy in Everyday Life". (<http://examples.yourdictionary.com/examples-of-chemical-energy.html>)
- [13] (<http://www.techconnection.info/Explanation.html>)
- [14] D. Uner, "Storage of Chemical Energy and Nuclear Materials, Energy storage systems", ENERGY STORAGE SYSTEMS, c. 2, s. 9.
- [15] W. Qikun, Z. Changchun, L. Weihua, ve W. Ting, "Hydrogen storage by carbon nanotube and their films under ambient pressure", International Journal of Hydrogen Energy, c. 27, sy 5, ss. 497-500, 2002.
- [16] J. O. Bockris ve T. N. Veziroglu, "A Solar-Hydrogen Energy System for Environmental Compatibility", Environmental Conservation, c. 12, sy 2, ss. 105-118, ed 1985, doi: 10.1017/S0376892900015526.
- [17] T. N. Veziroglu ve F. Barbir, "Hydrogen: the wonder fuel", International Journal of Hydrogen Energy, c. 17, sy 6, ss. 391-404, Haz. 1992, doi: 10.1016/0360-3199(92)90183-W.
- [18] S. Niaz, T. Manzoor, ve A. H. Pandith, "Hydrogen storage: Materials, methods and perspectives", Renewable and Sustainable Energy Reviews, c. 50, ss. 457-469, 2015.



- [19] Energy Efficiency & Renewable Energy. (<http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>).
- [20] M. Pudukudy, Z. Yaakob, M. Mohammad, B. Narayanan, ve K. Sopian, "Renewable hydrogen economy in Asia—Opportunities and challenges: An overview", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 30, ss. 743-757, 2014.
- [21] D. Teichmann, W. Arlt, ve P. Wasserscheid, "Liquid Organic Hydrogen Carriers as an efficient vector for the transport and storage of renewable energy", *International Journal of Hydrogen Energy*, c. 37, sy 23, ss. 18118-18132, Ara. 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.08.066.
- [22] G. Cau, D. Cocco, M. Petrollese, S. Knudsen Kær, ve C. Milan, "Energy management strategy based on short-term generation scheduling for a renewable microgrid using a hydrogen storage system", *Energy Conversion and Management*, c. 87, ss. 820-831, Kas. 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.07.078.
- [23] S. Dutta, "A review on production, storage of hydrogen and its utilization as an energy resource", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, c. 20, sy 4, ss. 1148-1156, Tem. 2014, doi: 10.1016/j.jiec.2013.07.037.
- [24] S. M. M. Ehteshami ve S. H. Chan, "The role of hydrogen and fuel cells to store renewable energy in the future energy network – potentials and challenges", *Energy Policy*, c. 73, ss. 103-109, Eki. 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2014.04.046.
- [25] J. Nowotny ve T. Veziroglu, "Impact of Hydrogen on the Environment", *Alternative Energy and Ecology (ISJAEE)*, ss. 16-24, Şub. 2019, doi: 10.15518/isjaee.2019.01-03.016-024.
- [26] Deneysan Eğitim Cihazları. "Hidrojen Enerjisi" ([http://deneysan.com/Content/images/documents/es-08\\_59355631.pdf](http://deneysan.com/Content/images/documents/es-08_59355631.pdf))
- [27] R. Zwart, Energy research center of netherland, "Synthetic Natural Gas (SNG)", s. 38.
- [28] Kiehne HA. *Battery Technology Handbook*, Second ed.. New York, Basel: Marcel Dekker Inc; 2003.
- [29] L. Chen, R. Nolan, S. Avadhany, S. Professor, ve A. Ghoniem, "Thermodynamic Analysis of Coal to Synthetic Natural Gas Process", Oca. 2009.
- [30] L. Wagner, "Overview of Energy Storage Methods", s. 16, 2007.
- [31] B. Zakeri ve S. Syri, "Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis", *Renewable and sustainable energy reviews*, c. 42, ss. 569-596, 2015.
- [32] H. Chen, T. N. Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li, ve Y. Ding, "Progress in electrical energy storage system: A critical review", *Progress in natural science*, c. 19, sy 3, ss. 291-312, 2009.
- [33] Kondansatör Nedir, Nasıl Çalışır? - Aydınlatma Portalı. (<https://www.aydinlatma.org/kondansator-nedir-nasil-calisir.html>)
- [34] A. Arslan, "Bazı İletken Polimerlerin Süperkapasitör Uygulamaları" Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2012.
- [35] Graphene-Info (2020). "Graphene Supercapacitors: Introduction and News" (<https://www.graphene-info.com/graphene-supercapacitors>).
- [36] "10 alternatives to lithium-ion batteries: Which new tech will power the future? » Green Authority". <https://greenauthority.com/10-alternatives-to-lithium-ion-batteries-79/> (erişim 19 Ekim 2022).
- [37] M. G. Molina, "Dynamic modelling and control design of advanced energy storage for power system applications", *Dynamic Modelling*, c. 300, 2010.
- [38] M. Root, *The TAB Battery Book: An In-Depth Guide to Construction, Design, and Use*. McGraw Hill Professional, 2010.
- [39] R. Carnegie, D. Gotham, D. Nderitu, ve P. V. Preckel, "Utility Scale Energy Storage Systems", s. 95.
- [40] C. Daniel ve J. O. Besenhard, "Handbook of battery materials. 2. rev. and enl", 2011.
- [41] "SRC-TR: Batarya Tipleri". <https://www.egmdss.com/gmdss-courses/mod/page/view.php?id=976> (erişim 20 Ekim 2022).
- [42] (2022) "Pil tarihi", *Vikipedi*. [https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pil\\_tarihi&oldid=26987972](https://tr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pil_tarihi&oldid=26987972)
- [43] Ş. Efe ve Z. A. Güngör, "Geçmişten Günümüze Batarya Teknolojisi", *European Journal of Science and Technology*, Oca. 2022, doi: 10.31590/ejosat.1048673.
- [44] J. Zhang, L. Zhang, H. Liu, A. Sun, ve R.-S. Liu, *Electrochemical Technologies for Energy Storage and Conversion*, 2 Volume Set, c. 1. John Wiley & Sons, 2011.
- [45] Unbound Solar. "Deep Cycle Battery Info". <https://unboundsolar.com/solar-information/deep-cycle-battery-info> (Erişim Tarihi: 14 Ekim 2022)
- [46] Energy Efficiency & Renewable Energy. (<http://energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>)
- [47] Fuel Cell & Hydrogen Energy Association. "Fuel Cell Basics" (<http://www.fchea.org/fuelcells>)
- [48] Energy Efficiency & Renewable Energy. (<http://energy.gov/eere/fuelcells/types-fuel-cells>)
- [49] PV Education, "Lead Acid Batteries". <https://www.pveducation.org/pvcrom/batteries/lead-acid-batteries>.
- [50] Clean Energy Institute, "What is a lithium-ion battery and how does it work?", <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/>. (Erişim Tarihi: 14 Ekim 2022)
- [51] K. M. Abraham, "How Comparable Are Sodium-Ion Batteries to Lithium-Ion Counterparts?", *ACS Energy Lett.*, c. 5, sy 11, ss. 3544-3547, Kas. 2020, doi: 10.1021/acscenergylett.0c02181.
- [52] (2019) Science Direct website. "Nickel Cadmium Battery", <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/nickel-cadmium-battery>.
- [53] Gray, "5 New Battery Technologies That Will Change the Future", <https://www.gray.com/insights/5-new-battery-technologies-that-will-change-the-future/>. (Erişim Tarihi: 14 Ekim 2022)
- [54] (2016) Science Direct website. "Microbial Fuel Cell", <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecularbiology/microbial-fuel-cell>.
- [55] R. Moore-Coyler; "Samsung solid-state battery breakthrough could double EV range", *Car Magazine*, (2020), (11 Mayıs 2020), <https://www.carmagazine.co.uk/electric/solid-state-battery-ev/>. (erişim 19 Ekim 2022)
- [56] Y. A. Gögüş, "Mechanical Energy Storage", *ENERGY STORAGE SYSTEMS*, c. 1, s. 9.
- [57] I. Hadjipaschalis, A. Poullikkas, ve V. Efthimiou, "Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, c. 13, sy 6, ss. 1513-1522, Ağu. 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.09.028.
- [58] Ü. Ünver, H. Bilgin, ve A. Güven, "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemler", *Mühendis ve Makina*, c. 56, sy 663, Art. sy 663, Nis. 2015.
- [59] R.R. Miller, M. Winters. (2009) Energy storage: opportunities for pumped storage: supporting renewable energy Goals. *Hydro Review* <https://www.hydroreview.com/world-regions/energy-storage-opportunities-for-pumped-storage-supporting-renewable-energy-goals/>
- [60] Ö. Çiçek ve M. Özdemir, "Örnek Bir Hidroelektrik Santrali İçin Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrali Tasarımı", *GMBD*, c. 7, sy 1, ss. 26-35, Nis. 2021, doi: 10.30855/gmbd.2021.01.04
- [61] B. Kocaman, "Mikro Şebekeler için Örnek Bir Enerji Yönetimi Uygulaması", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 3, sy 1, Haz. 2014, doi: 10.17798/beufen.05193.
- [62] Energy Storage Association. "Advanced Energy Storage Technologies". (<http://energystorage.org/energy-storage/energy-storage-technologies>)
- [63] M. Lamonica. Compressed air energy storage makes a comeback 2013 (<http://spectrum.ieee.org/energywise/energy/the-smarter-grid/compressed-air-energystorage-makes-a-comeback>).
- [64] P. Zhao, L. Gao, J. Wang, ve Y. Dai, "Energy efficiency analysis and off-design analysis of two different discharge modes for compressed air energy storage system using axial turbines", *Renewable Energy*, c. 85, ss. 1164-1177, Oca. 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.07.095.
- [65] Z. Čarija, L. Kranjčević, V. Banić, ve M. Čavrak, "Numerical analysis of Wells turbine for wave power conversion", *Engineering Review: Međunarodni časopis namijenjen publiciranju originalnih istraživanja s aspekta analize konstrukcija, materijala i novih tehnologija u području strojarstva, brodogradnje, temeljnih tehničkih znanosti, elektrotehnike, računarstva i građevinarstva*, c. 32, sy 3, ss. 141-146, 2012.
- [66] M. Mutlu, "Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama" Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye, 2015.
- [67] B. Nitz. (2012) Arothron's Underwater Compressed Air Storage Could Fill Gaps in the Grid - Green Prophet <https://www.greenprophet.com/2012/07/arothrons-underwater-compressed-air/> (erişim 19 Ekim 2022).
- [68] Compressed air energy storage, Energy Storage Association, 2015 (<http://energystorage.org/compressed-air-energy-storage-caes>)
- [69] "Enerji Depolama Sistemleri Nelerdir? | Teknoloji Projeleri", 25 Ocak 2021. <https://teknolojiprojeleri.com/teknik/enerji-depolama-sistemleri-nelerdir> (erişim 19 Ekim 2022).
- [70] Fehrenbacher K. 2007. Flywheel Maker Pentadyne Raises \$14M. <http://gigaom.com/cleantech/flywheel-maker-pentadyne-raises-14m/>.
- [71] L. F. Cabeza, I. Martorell, L. Miró, A. Fernández, ve C. Barreneche, "Introduction to thermal energy storage (TES) systems", içinde *Adv Therm Energy Storage Syst*, 2015, ss. 1-28. doi: 10.1533/9781782420965.1.



- [72] R. Aytas. Termal Enerji Depolama ([https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/43740/mod\\_resource/content/0/Hafta11-Termal%20enerji%20depolama.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/43740/mod_resource/content/0/Hafta11-Termal%20enerji%20depolama.pdf)).
- [73] A. H. Abedin, "A Critical Review of Thermochemical Energy Storage Systems", TOREJ, c. 4, sy 1, ss. 42-46, Ağu. 2011, doi: 10.2174/1876387101004010042.
- [74] N. Pflieger, T. Bauer, C. Martin, M. Eck, ve A. Wörner, "Thermal energy storage – overview and specific insight into nitrate salts for sensible and latent heat storage", Beilstein J. Nanotechnol., c. 6, ss. 1487-1497, Tem. 2015, doi: 10.3762/bjnano.6.154.
- [75] savENRG®. (2022) "Phase Change Technology for temperature-controlled packaging" (<http://www.rgees.com/technology.php>).
- [76] İbrahim D.; M. A. Ezan, "Tüba-Enerji Depolama Teknolojileri Raporu", Türkiye Bilimler Akademisi, 2020.
- [77] Energy Education. ([https://energyeducation.ca/encyclopedia/Fuel\\_cell](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Fuel_cell))